

UDK: 621.822.1

EKONOMSKA OPRAVDANOST REPARACIJE LEŽIŠNIH SKLOPOVA

Aleksandar Ašonja

*"NS-Termomontaža" - Novi Sad
nstermomontaza@gmail.com*

Sadržaj: Zastarelost elemenata ležišnog sklopa ili nedostatak istih na tržištu su neki od razloga zbog kojih se održavaoci tehničkih sistema najčešće odlučuju na popravku ili obnavljanje tih istrošenih delova sistema. Sa aspekta ekonomičnosti, od naročitog je značaja vraćanje prvobitnih geometrijskih i kinematskih karakteristika na istrošenim delovima u odnosu na kupovinu nove opreme. Cilj rada je bio da se ukaže na ekonomsku opravdanost primene reparacije u obnavljanju oštećenih i istrošenih delova vratila i kotrljajnih ležaja, sa detaljnim opisom postupaka reparacije najčešće primenjivanih u praksi.

Ključne reči: ekonomska opravdanost, reparacija, vratilo, kotrljajni ležaj.

UVOD

Cilj svake dobro organizovane funkcije održavanja, jeste postizanje što nižih troškova kako radnika na održavanju tako i materijala i rezervnih delova. Gotovo da ne postoji ni jedna mašina koja u sebi ne sadrži kotrljajni ležaj kao najvitalniji radni deo. Masovna primena kotrljajnih ležaja dovela je do postizanja neophodne visoke preciznosti njihove izrade, kao i odgovarajućih postupaka održavanja. Svojstva elemenata ležišnog sklopa pre svega odlikuje popravljivost, koja određuje mogućnost ponovnog izvršavanja specifičnih funkcija radnih aktivnosti, nakon preduzetih zahvata održavanja po otklanjanju uzroka neispravnosti. Oštećeni ležaji u radu mogu prouzrokovati često velike zastoje, koji mogu izazivati milionske gubitke, kako zbog stajanja, tako i zbog oštećenja visoko vredne opreme. Česti uzroci nestabilnog rada ležaja su prekomerna povećanja vibracija, buke i udara. Pod ovim uslovima nastali gubici radne sposobnosti mogu izazvati skupe i neplanirane zastoje, koji višestruko prevazilaze cenu samih ležaja. Poslednjih godina praksa je pokazala da je približno 50% zastoja kod svih obrtnih mašinskih sistema izazvano nesaosnim osovinama i vratilima. Odstupanje od saosnosti izaziva dodatna opterećenja i vibracije, koje oštećuju prvenstveno ležajeve, a zatim i ostale mašinske elemente prisutne u kinematskom lancu:

zaptivke, spojnice, kućišta, motore, zupčanike i dr. Tendencije razvoja novih mašina danas baziraju se na većoj produktivnosti, uz značajan porast opterećenja, brzina i radnih temperatura. Kao posledice toga javljaju se kod kotrljajnih ležaja, kao člana grupe viših kinematskih parova, dva osnovna tribološka procesa: trenje i habanje. Analize pokazuju da preko 30% neispravnosti svih mašinskih sklopova jesu posledice habanja, a procenjuje se da se od ukupne proizvedene energije u svetu, 30% koristi na savladavanje trenja. Godišnji gubici snage usled trenja i habanja u SR Nemačkoj iznose oko 4,5-5 milijardi evra. Održavaoci tehničkih sistema odn. korisnici ležaja mogli bi sebi značajno umanjiti ove troškove održavanja primenom nekih od postupaka reparacije. S obzirom na mehanizme otkaza, moguće je podeliti postupke za osposobljavanje mašinskih delova na:

- popravljjanje (otklanjanje otkaza kojima je uzrok lom, napuknuće, razdvajanje nerastavljivih veza i sl.) i
- obnavljanje (otklanjanje otkaza nastalih usled habanja ili gubljenja nekih geometrijskih karakteristika), vraćanje starih kinematskih dimenzija sagledanih kroz hrapavost, ravnost, zakrivljenost i dr.

Ekonomska opravdanost u radu prikazaće se na primerima reparacije vratila na hvataču kamena i reparacije jedne određene količine kotrljajnih ležaja.

KONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE REPARACIJE VRATILA

U konvencionalne tehnologije obnavljanja i popravke vratila ubrajaju se sledeće metode: metalizacija, navarivanje, zavarivanje, primena plazme, lepljenje, antikorozivna zaštita i tvrdo hromiranje. Od svih nabrojanih metoda najviše su u praksi zastupljene metode metalizacije i navarivanja.

Metalizacija

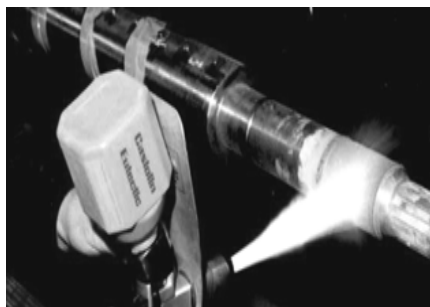
Metalizacija se uspešno može primeniti u reparaciji istrošenih: rukavaca vratila i osovine, radilica, kućišta ležajeva i drugih mašinskih elemenata, sl. 1. Prednosti metalizacije se ogledaju u: brzom i lokalnom nanošenju prevlake radi vraćanja pohabane dimenzije, usporavanja budućeg habanja, sprečavanja korozije, smanjenja provođenja toplote kod termalnih barijera itd. Data tehnologija omogućava lokalnu primenu na licu mesta na delovima koji su izloženi oštećenju produžavajući životni vek novog dela i jeftiniji postupak reparacije.

Danas je razvijeno više stotina raznih postupaka metalizacije koji se među sobom razlikuju prema načinu rada uređaja za metalizaciju, vrsti materijala i vrsti gasova koji se koriste. U osnovi se ovi postupci mogu podeliti na hladne postupke (žicom i prahom) i tople postupke. U radu temperatura osnovnog materijala ne prelazi 250°C, tako da osnovni materijal zadržava mehaničke osobine koje je imao pre postupka metalizacije. Niske temperature rada (u poređenju sa zavarivanjem) znače proces bez krivljenja osnovnog materijala (npr. vratila) ili metalurškog osiromašenja osnovnog materijala.

Hladna metalizacija podrazumeva nanošenje praha na hladnu površinu. Uređaji za hladni postupak, u zavisnosti od konstrukcije, koriste dodatne materijale u obliku žice ili praha. Hladna metalizacija se može izvoditi: gasnim, plazma, supersoničnim i gasno-detonacionim postupkom i može se primenjivati na svim metalnim materijalima osim čistog bakra, stakla i nemetala. Ovaj postupak karakteriše: nulto rastvaranje osnovnog

materijala kao rezultat mehaničkog vezivanja, mogućnost nanošenja tankih prevlaka od 0,05 do 5mm, poroznost od 3 do 15% i visoka efikasnost u prekrivanju velikih površina u poređenju sa zavarivanjem. Veza dodatnog i osnovnog materijala ostvaruje se adhezijom i mehaničkim uklještenjem.

Topla metalizacija se primenjuje u uslovima velikog habanja i može se izvoditi nanošenjem praha kao dodatnog materijala na relativno hladnu površinu i naknadnim zagrevanjem površine i rastapanjem praha ili sa istovremenim zagrevanjem površine, nanošenjem i rastapanjem praha. Ovim postupkom se mogu metalizirati samo materijali koji imaju tačku topljenja iznad 1150°C, odnosno iznad temperature topljenja dodatnog materijala. Prilikom tople metalizacije, zbog visoke radne temperature metalizacije, materijali koji su termički obrađeni (poboljšanje, kaljenje, cementacija) gube deo svojih svojstava u zavisnosti od debljine sloja koji se nanosi, a dodatni materijal koji se koristi je u obliku praha. Debljina sloja koja se nanosi je od 0,1-3 mm, a poroznost sloja je 0-3%. Veza dodatnog i osnovnog materijala ostvaruje se procesom difuzije.



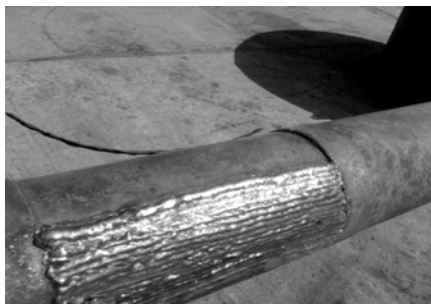
Sl. 1. Postupak metalizacije

Osnovni kriterijumi koje treba da zadovolje navedeni postupci obnavljanja radnih delova tehničkog sistema su: pouzdanost, bezbednost i ekonomičnost. Međutim, uspešno nanošenje slojeva metalizacijom zavisi od pravilne primene i izbora dodatnog materijala prema opterećenju radnog dela. Najveće greške se upravo dešavaju u tim segmentima postupka metalizacije.

REL postupak navarivanja

Ručno elektrolučno navarivanje (REL) je proces nanošenja dodatnog materijala na osnovni materijal postupkom navarivanja. Često se primenjuje u praksi, ponajviše zbog jednostavnosti u radu. Navarivanje se koristi u slučajevima potrebe vraćanja na početne dimenzije istrošenih površina i povećavanja njihove otpornosti na habanja. Sam izbor postupka navarivanja je delikatan postupak kojem se mora pristupiti sistematski. Navarivanje se izvodi (u zavisnosti od kvaliteta osnovnog materijala i prečnika vratila) najčešće bazičnom elektrodom 3,25mm sa što kraćim lukom i manjom strujom. Kod vratila većih prečnika poželjno je pre postupka navarivanja izvesti predgrevanje osnovnog materijala do 150°C, koje će delimično smanjiti tvrdoću, ali će eliminisati eventualne prsline u navaru. Sam postupak navarivanja se izvodi naizmeničnim slaganjem prolaza od leve ka desnoj strani, s tim što se jedan prolaz izvodi sa jedne strane, a drugi sa druge strane za 180° od njega, sl.2. Navarivanje mogu da izvode dva ili

više zavarivača pod uslovom da su simetrično raspoređeni. Debljina sloja koja se navaruje je od 1 - 10mm.



Sl. 2. REL postupak navarivanja

TEHNOLOGIJE ZA BRZE REPARACIJE LEŽIŠTA

U svim slučajevima veze kotrljajnih ležaja i vratila pri okretanju radijalne zaptivke su neophodne. Danas proizvodni program obuhvata skoro 25.000 različitih tipova radijalnih zaptivki u svim oblicima poprečnih preseka, različitih materijala namenjenih raznovrsnim aplikacijama. Raspon dimenzija se kreće od unutrašnjeg prečnika 3,2mm pa sve do 4.752mm. U tehnologije za brze reparacije vratila mogu se ubrajati sledeće metode: tečne zaptivke, hidraulične zaptivke, tečne keramike, zaptivke u rolni, pletenice, O - ring zaptivke, V - ring zaptivke i Speedi-Sleeve metode. Danas kao dosta primenjivana u praksi pokazala se Speedi-Sleeve tehnologija.

Speedi-Sleeve metoda

Speedi-Sleeve metodu predstavljaju tankozidne čaure za reparaciju pohabanih vratila od 12 do 200mm, koje se koriste za rešavanje problema istrošenih krajeva vratila. Čaure su dovoljno debelog zida od 0,254mm sa kvalitetom obrađene površine od 0,25 do 0,5 μ m, ne dozvoljavajući tako nagle promene na zidu čaure tokom korišćenja. Izrađuju se od visoko kvalitetnog čelika SAE 304, i ne zahtevaju skupu predpripremu vratila za njihovu montažu. U teškim radnim uslovima: visokoj kontaminiranoj sredini, temperaturama iznad 100⁰ C i brzinama vratila od 8,6m/s obične čaure bi se mogle ubotrebljavati u proseku oko 450 h, dok bi čaure Speedi-Sleeve Gold za iste uslove trajale u proseku i do 2.500 h.

REPARACIJA KOTRLJAJNIH LEŽAJA

Krajem prošlog veka otvoreni su prvi značajni centri za reparaciju ležaja, sa ciljem pružanja usluga u obnavljanju kotrljajnih ležaja uz nastojanja da se smanje ukupni troškovi eksploatacije ležaja. Ležaji se na ovaj način repariraju u specijalizovanim servisima, koji za obnovljenje ležaja daju garanciju kao za nove kupljene ležaje. Za reparaciju u ovim centrima su prihvatljivi samo ležaji zapadnih proizvođača i to: SKF, FAG, INA, TIMKEN, NTN, KOYO i dr.

U prijemnim odeljenjima ovih servisnih centara se posle detaljnog pranja i pregleda donosi odluka o mogućnosti reparacije, ali isključivo samo gore pomenutih ležaja. Ukoliko ležaj nije teže mehanički oštećen, nema prskotine, odlomljene delove ili teško zardale površine, on se u najvećem broju slučajeva može reparirati. Ležajevi koji se ne mogu reparirati u dogovoru sa naručiocem posla se vraćaju ili se dalje uništavaju. Cena usluge reparacije kotrljajnih ležaja, zavisi od: stepena oštećenja ležaja i transportnih troškova do servisnog centra u jednom smeru i obično iznosi 40-60% od cene novog ležaja. Konačne cene se formiraju nakon procene istrošenosti ležaja u prijemnim odeljenjima, i ova razlika u ceni može biti i značajno ispod pominjanih vrednosti.

MATERIJAL I METOD RADA

U radu će se analizirati opravdanosti reparacije elemenata ležišnih sklopova većih dimenzija koji rade u teškim industrijskim uslovima, kod kojih je mogućnost primene kiteva, lepkova ili ostalih osigurača u potpunosti isključena. Ekonomska opravdanost kalkulirana po tržišnim cenama prikazaće se na primerima reparacije vratila na hvataču kamena postupkom REL navarivanja sa jedne strane i reparacije određene količine kotrljajnih ležaja u servisnom centru sa druge strane. Analiziranim troškovima kod obnavljanja vratila i kotrljajnih ležaja, želi se pokazati na datim uzorcima kolika je ušteda i gde je granica ekonomske opravdanosti primene postupka reparacije u odnosu na nabavku novih delova. Osnovne karakteristike obnavljanog vratila bile su: prečnik $\phi 155\text{mm}$, dužina $l=4.200\text{mm}$, materijal Č.1331. Primena procesa reparacije kotrljajnih ležaja pokazalaće se na primeru jedne kompanije koja je odlučila da obnovi, u specijalizovanom servisnom centru, 77 ležaja uglavnom većih dimenzija.

Kod vratila, zbog različitih dimenzija, za analizu rezultata istraživanja koristiće se kao merodavna veličina isključivo masa vratila, a kod ležaja spoljni prečnik ležaja.

Ukupni troškovi reparacije vratila izvedenim REL postupkom navarivanja, iskazani su preko jed. 1:

$$H_v = h_{nv} + h_{tv} + h_{zov} \quad (\text{€}), \quad (1)$$

gde su:

h_{nv} - troškovi navarivanja ležišta vratila, (zavise od vremena zavarivača i utrošene elektrode za navarivanje),

h_{tv} - troškovi transporta (manipulacije) i

h_{zov} - troškovi završne obrade finim struganjem.

Ukupni troškovi reparacije kotrljajnih ležaja u servisnom centru, iskazani su preko jed. 2:

$$H_l = h_{tl} + h_{opl} \quad (\text{€}), \quad (2)$$

gde su:

h_{tl} - troškovi transporta i manipulacije ležajima do servisnog centra u jednom smeru i

h_{opl} - troškovi obnavljanja i popravke ležaja.

Ukupno vreme u radu neophodno za obnavljanje vratila iskazano je preko jed. 3:

$$T = t_{pz} + t_o + t_p + t_d \quad (\text{h}), \quad (3)$$

gde je:

t_{pz} - pripremno i završno vreme,

t_o - osnovno vreme,

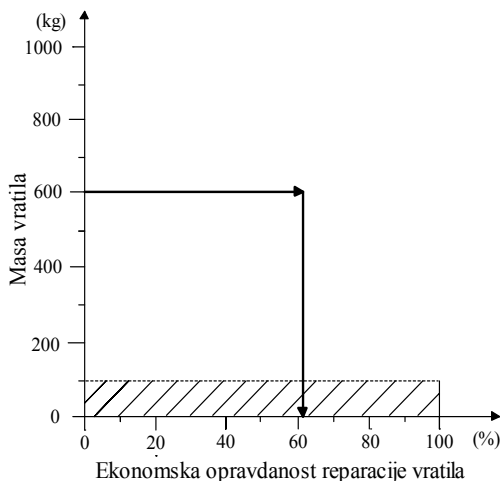
t_p - pomoćno vreme i

t_d - dodatno vreme.

ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Ukupni troškovi reparacije analiziranog vratila iznosili su 875 €, u troškove su uračunati troškovi: navarivanja transporta (manipulacije) i završne obrade finim struganjem. Cena nabavke novog vratila sa strugarskom obradom iznosila bi 2244 €, što ukazuje na to da je primenjenim postupkom reparacije u odnosu na nabavku novog dela izvršena ušteda od 61 %, sl.3. Ukupno vreme utrošeno za reparaciju vratila iznosilo je 26 h.

Ekonomska opravdanost postupka reparacije navarivanjem vratila imala bi smisla na vratilima čija je masa iznad 100 kg. Veoma važni faktori u slučaju da se održavaoci tehničkih sistema odluče za kupovinu novih materijala za izradu vratila jesu: dostupnost na tržištu i rokovi isporuke. Navedeno najviše dolazi do izražaja za vratila većih gabarita i vratila od kvalitetnijih čelika.



Sl. 3. *Ekonomska opravdanost reparacije vratila primenom postupka navarivanja*

Ukupni troškovi reparacije 77 kotrljajnih ležaja uglavnom većih dimenzija iznosili su 79.000.00 €, a cena istih tih, ali novih, ležaja iznosila bi 199.000.00 €. To znači da je firma korisnik usluga reparacije ostvarila uštedu od čitavih 120.000,00 €, ili je uštedela 60,3% od cene novih ležaja. Donja vrednost spoljašnjeg prečnika ležaja gde ekonomska opravdanost reparacije ima smisla je $D > 200\text{mm}$, (i to za više komada ležaja). U slučaju većih serija, isplativa bi bila i reparacija srednjih ležajeva.

ZAKLJUČAK

Ukupno vreme potrebno za dovođenje tehničkih sistema u stanje ispravnosti znatno se skraćuje primenom postupaka reparacije. Ležajevi i vratila srednjih i velikih gabarita, u slučaju umerenih oštećenja, mogu se uspešno reparirati, po prihvatljivim cenama i rokovima, koji su po pravilu povoljniji od nabavnih. Prednost reparacije ležišnog sklopa prvenstveno se ogleda u ceni obnovljenog vratila i ležaja koja je znatno niža od nabavke

novih delova. Ukupne uštede postupkom reparacije iznosile su: 61% kod obnavljanja vratila i 60,3% kod obnavljanja određene količine kotrljajnih ležaja. Reparirani delovi ležišnog sklopa po svojim performansama ni po kojim vrednostima ne zaostaju za novim delovima, pri čemu servisni centri za obnovljenu opremu daju potpuno istu garanciju kao za novu.

LITERATURA

- [1] Ašonja A., Gligorić R.: Istraživanja kotrljajnih ležaja, Traktori i pogonske mašine, Vol. 8, No.4, 130-135, Jugoslovensko društvo za pogonske mašine i traktore, Novi Sad, 2003.
- [2] Ašonja A., Gligorić R.: The calculate analysis of static behaviour of pump shaft, Proceedings from 9th International research/expert conference-"Trends in the development of machinery and associated technology", TMT O5-032, Antalya, 2005.
- [3] Ašonja A., Gligorić R.: Istraživanje veka trajanja kotrljajnih ležaja, Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta, Poljoprivredni fakultet, vol. 29, br. 1, str. 78- 84, Novi Sad, 2005.
- [4] Tasevski B., Momirov B.: Reparatura vratila postupkom metalizacije, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, broj 1, 23-28, Beograd, 2005.
- [5] SKF Bilteni: broj 7, 1998.
- [6] Speedi-Sleeve.: Or how to repair shafts easy way, Publication 519E, Sweden, 2002.

THE ECONOMIC VALIDITY OF BEARING STRUCTURE REPARATION

Aleksandar Ašonja

*NS-Termomontaža - Novi Sad
nstermomontaza@gmail.com;*

Abstract: The arhaic elements of bearing structure or absence of them on the market are some of the reasons why observers of technical systems often decide for reparation or reconstruction of that spent systems fraction. From the aspect of economics, the specific meaning has the backing of primary geometrics and kinematic characteristics on spent parts in relation with buying new equipments. The aim of the work was to indicate on economical validity of applying reparation in reconstruction of damaged and spent fraction of shaft and roller bearing, with detail description of reparation process the often used in practical work.

Key words: *economic validity, reparation, shaft, roller bearing.*